

## 都市域の下水管路網における下水熱利用可能量の推定に関する研究

### ESTIMATION OF AVAILABLE HEAT OF SEWAGE WATER IN THE PIPE LINE NETWORK IN URBAN AREAS

地域環境計画 瀬川勇輝

本研究では、未利用エネルギーである下水の熱利用・熱融通システムの普及に向け、現状の下水処理温度を逸脱しない下水熱利用を前提とし、かつ、普及状況に応じて更新可能な採熱限界ポテンシャルを提案した。そして、ポテンシャルの算出に用いる下水流量、温度、処理限界下水温度、および建物の下水熱利用量の把握方法の検討から、必要となる情報の整理を行い、最後に大阪市海老江処理区を対象例に下水熱利用可能量の推定を行った。

In order to promote greater use of sewage heat utilization systems, this study proposes a potential index for estimation of available heat based on temperature of sewage water on treating process. The potential assumes sewage heat utilization without departing from the sewage temperature at sewage plant, and is renewable according to the status of permeation. And we sorted out the necessary information from studying the grasping method of sewage flow, sewage temperature, limit sewage temperature, and, sewage heat utilization volume in building. At the end, we take Ebie sewage-treatment area for instance, and estimated available heat of sewage water.

#### 1. 研究の背景と目的

地球温暖化防止対策として、都市域における未利用エネルギーである下水熱の活用が考えられる。図1に示すように、下水は外気温と比べ年間を通して温度変化が小さく、冬期は10(°C)以上の差があり、ヒートポンプの熱源として価値が見込まれる。下水熱利用を考えた時、我が国では下水道施設近傍地域での導入に限定されており、距離が離れた施設間での下水熱利用は存在しない。

既設の下水管路網を熱導管として活用すれば、管路上での熱利用、建物間での熱融通が可能となり、熱輸送管路を新設する費用も削減できる。本研究では、管路近傍の建物で、管路内の下水に採排熱を行うことを『下水熱利用』、ある建物での下水熱利用による下水温度変化を活かし下流の建物で採熱や排熱を行うことを『下水熱融通』と呼ぶ。

下水熱利用・熱融通の普及に向け、都市内の各地点における下水熱利用可能量(以下、ポテンシャル)を示した図面である『ポテンシャルマップ』を下水道管理者が運用管理することが求められる。そこで本研究では、下水熱利用・熱融通の普及状況に応じて更新可能なポテンシャルの考え方を提示し、現状の下水処理温度に大きな変化を与えない範囲での熱利用を前提とした熱利用可能量を推定することを目的とする。

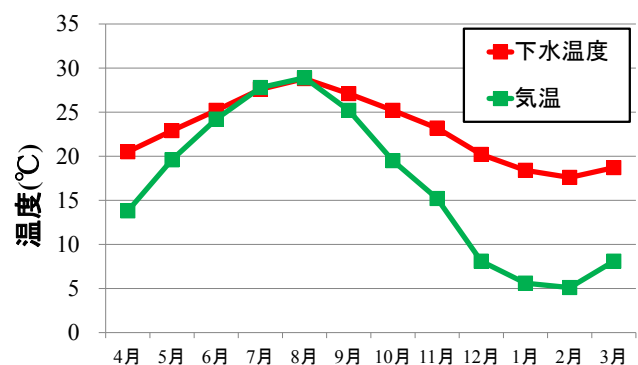


図1 大阪市の気温と下水温度の比較<sup>[1]</sup>

$$P_{MAX} = C_w G_{SEW} \Delta T \quad \text{式 1}$$

$$P_{LIM} = C_w G_{SEW} (T_{SEW} - T_{LIM}) \quad \text{式 2}$$

$$P'_{LIM} = C_w G_{SEW} (T_{SEW} - T_{LIM}) - \sum Q_{in} + \sum Q_{out} \quad \text{式 3}$$

$P_{MAX}$ : 採熱側最大ポテンシャル(MJ/h)

$P_{LIM}$ : 採熱限界ポテンシャル(MJ/h)

$P'_{LIM}$ : 建物採排熱を考慮した採熱限界ポテンシャル(MJ/h)

$C_w$ : 水の容積比熱(MJ/m<sup>3</sup>K)  $G_{SEW}$ : 下水流量(m<sup>3</sup>/h)

$\Delta T$ : 温度差(K)  $T_{SEW}$ : 下水温度(°C)  $T_{LIM}$ : 処理限界下水温度(°C)

$Q_{in}$ : 建物の下水熱利用量(MJ/h)  $Q_{out}$ : 建物の下水排熱量(MJ/h)

ポテンシャルマップに示すポテンシャルのひとつには、式1により表される『採熱側最大ポテンシャル』がある。このポテンシャルは熱交換器の温度差条件から最大で5(K)の温度差を利用することができると考えたものであり、下水熱利用企画段階にて採熱設備の許容最大能力の目安となる。

一方、本研究では式2により表されるポテンシャルを提案する。こちらは管路途中の下水熱利用によって、下流域で下水温度が低下し処理場での下水処理能力が低下しないように、処理限界下水温度を基準としたポテンシャルであり、『採熱限界ポテンシャル』と呼ぶこととする。式2では、管路上の任意の点での下水流量と温度に加え、処理能力低下を防止するために最低限維持しなければいけない処理限界下水温度を設定する必要がある。これらの入力情報の整備について2章と3章で述べる。

また、式3に示すように、『採熱限界ポテンシャル』は将来的に下水熱利用・熱融通システムの導入により変化する状況(図2)を随時反映することが可能となっている。4章で建物用途・規模別の下水熱利用量の算定をおこない、5章でポテンシャルマップを作成する。

## 2. 下水流量・温度の推定

ポテンシャルの算出には下水流量、温度が必要であるが、一般にそれらは自治体によって下水処理場やポンプ場などでしか実測されておらず、下水管路上での実測は行われていない。ここで、新たに実測を行うことも考えられるが、手間とコストがかかる問題がある。

河合<sup>[2]</sup>、澤部ら<sup>[3]</sup>は大阪市の数十地点において下水流量、温度の実測を行い、非降水時における下水流量、温度推定法を提案した。各推定法では、推定地点ごとに特定の情報が必要であることや、大阪市での実測結果を活用して作成した回帰式などの情報を他都市の推定でも適用することが考えられている(表1)。なお、日平均下水流量の推定を経て時刻別平均下水流量の推定が、また、月別平均下水温度の推定を経て月ごとの時刻別平均下水温度の推定が行える手順となっている。

ここで、ポテンシャルマップはさまざまな都市にて作成されることから、提案された推定法はどの都



図2 採熱限界ポテンシャルの変化

市でも適用可能であるべきである。しかし、河合<sup>[2]</sup>、澤部ら<sup>[3]</sup>は提案した推定法が大阪市でしか適用できると確認していない。

### 2.1 下水流量推定法他都市での適用検討

提案された下水流量推定法が大阪市以外でも適用できるか推定精度の確認を行う。対象地域は福岡市のA下水処理場の処理区であり、A下水処理場にて実測された日平均下水流量の年間時系列データなどを用いて、処理区内にあるポンプ場の日平均下水流量を推定し、ポンプ場の実測値と比較する。図3に示した結果より、実測値に対する推定値の比率は各月とも0.90(-)前後であり、推定精度が良いことがわかった。

### 2.2 下水温度推定法他都市での適用検討

提案した下水温度推定法が他都市でも適用できるか推定精度の確認を行う。対象は、仙台市のB下水処理場であり、日平均気温の時系列データなどから、B下水処理場の月別平均下水温度を推定し、実測値と比較する。図4に示した結果より、推定値と実測値の誤差はどの月においても1.0(K)未満であり、推定精度が良いことがわかった。

以上より、提案された各推定法が、日平均下水流量と月別平均下水温度の範囲で、大阪市以外の都市でも適用可能であることがわかった。ただし、時刻別平均下水流量と月ごとの時刻別平均下水温度は実測値が無いため、推定精度の確認ができていない。

表1 下水流量・温度推定法の概要

推定法	推定対象	推定地点ごとに必要な情報	大阪市での実測結果を活用して作成した情報
下水流量推定法 <sup>[3]</sup>	日平均下水流量	推定地点を管轄する処理場における日平均下水流量の年間時系列データ 推定地点を管轄する処理場における集水域内の建物総延床面積 推定地点における集水域内の建物総延床面積	
	時刻別平均下水流量	推定地点における集水域内の住宅施設延床面積比率	時刻別下水流量比率と集水域内の住宅施設延床面積比率における回帰式
下水温度推定法 <sup>[2]</sup>	月別平均下水温度	推定地点を管轄する処理場における日平均下水温度の年間時系列データ 推定地点が所在する都市における日平均気温の年間時系列データ	
	月ごとの時刻別平均下水温度		月別平均下水温度からの時刻変動

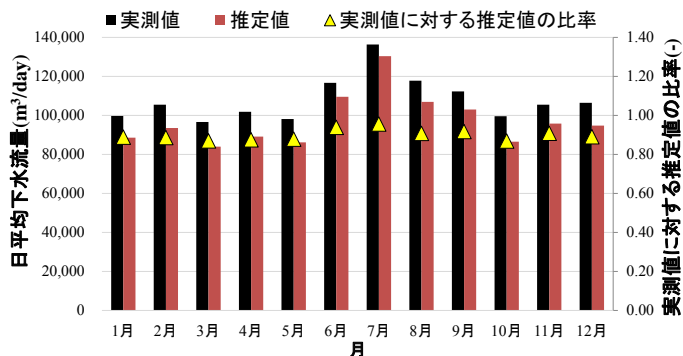


図3 福岡市における日平均下水流量の推定

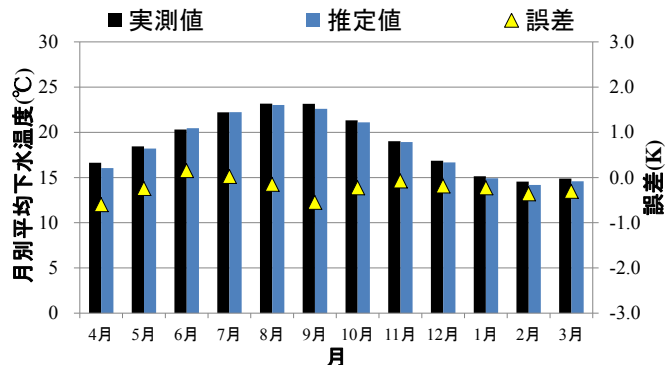


図4 仙台市における月別平均下水温度の推定

### 3. 処理限界下水温度の設定

ポテンシャルの算出に用いる処理限界下水温度には、これまでの下水処理場の運転実績より、下水処理場にて計測された下水温度データから降水日データを除外した場合における月ごとの最低下水温度を用いることを考える。月ごとの値を用いるのは、処理場の曝気槽内で活性化している微生物の優占種が月ごとの下水温度の変化に伴って変わることを考慮したからである。

### 4. 建物の下水熱利用量の算定

将来的な下水熱利用の導入によるポテンシャル変化を予測計算するのに用いる建物の下水熱利用量は下水熱利用の事例が少なく、建物によってどれくらいの値が要するかを把握できていないのが現状である。

そこで、澤部<sup>[4]</sup>、中村<sup>[5]</sup>らが提案した下水熱利用システムを想定したシミュレーションを行い、建物の用途、規模で分けた建物モデルごとに下水熱利用量を求め、導入建物を該当する建物モデルに振り分け、導入建物の下水熱利用量を近似的に決定することを考える。

#### 4.1 シミュレーション方法

シミュレーションはシステムを構成する熱源機、熱交換器を1つの要素ごとにモジュール化し、モジュール内でエネルギー方程式などの数式モデルを構築して、それらの連立方程式をニュートンラプソン法で解くものである。

#### 4.2 建物の下水熱利用システム

建物の下水熱利用システムは図5に示すようになっており、建物の給湯負荷を全て下水熱利用システムで賄い、貯湯槽を利用した夜間蓄熱運転を想定する。また、熱交換器は管路外設置型である。

使用するモジュールは、熱交換器、熱源機モジュールあり、各モジュールの数式に入力値を与え、下水熱利用量  $Q_{HEX}$  を月ごとに算出する。式3~16に各モジュールの数式を示す。

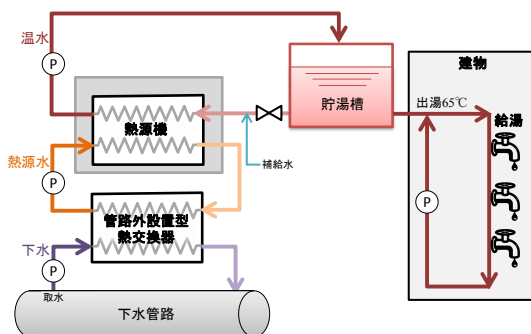


図5 建物の下水熱利用システム

<熱源機モジュールの数式>

$$G_{HOT\_in} = G_{HOT\_out} \quad \text{式3}$$

$$G_{HS\_in} = G_{HS\_out} \quad \text{式4}$$

$$Q_{CON} = G_{HOT\_in} C_w (\theta_{HOT\_out} - \theta_{HOT\_in}) \quad \text{式5}$$

$$Q_{EVA} = G_{HS\_in} C_w (\theta_{HS\_in} - \theta_{HS\_out}) \quad \text{式6}$$

$$Q_{CON} = Q_{EVA} + E_{ref} \quad \text{式7}$$

$$Q_{CON} = COP \cdot E_{ref} \quad \text{式8}$$

$$q = Q_{CON} / Q_{CON\_ref} \quad \text{式9}$$

$$COP = aq^3 \theta_{HS\_in} + bq^2 \theta_{HS\_in} + cq \theta_{HS\_in} + dq + e \theta_{HS\_in} + f \quad \text{式10}$$

<熱交換器モジュールの数式>

$$G_{H\_in} = G_{H\_out} \quad \text{式11}$$

$$G_{L\_in} = G_{L\_out} \quad \text{式12}$$

$$Q_{HEX} = C_w G_{H\_in} (\theta_{H\_in} - \theta_{H\_out}) \quad \text{式13}$$

$$Q_{HEX} = C_w G_{L\_in} (\theta_{L\_out} - \theta_{L\_in}) \quad \text{式14}$$

$$Q_{HEX} = K_{HEX} A_{HEX} \Delta\theta_m \quad \text{式15}$$

$$\Delta\theta_m = \frac{(\theta_{H\_in} - \theta_{L\_out}) - (\theta_{H\_out} - \theta_{L\_in})}{\ln\{(\theta_{H\_in} - \theta_{L\_out}) / (\theta_{H\_out} - \theta_{L\_in})\}} \quad \text{式16}$$

$G_{HOT\_in}$ : 温水入口流量(m³/s)  $G_{HOT\_out}$ : 温水出口流量(m³/s)

$G_{HS\_in}$ : 熱源機側熱源水入口流量(m³/s)

$G_{HS\_out}$ : 熱源機側熱源水出口流量(m³/s)

$Q_{CON}$ : 加熱能力(kW)  $Q_{EVA}$ : 冷凍能力(kW)

$\theta_{HOT\_in}$ : 温水入口温度(°C)  $\theta_{HOT\_out}$ : 温水出口温度(°C)

$\theta_{HS\_in}$ : 熱源機側熱源水入口温度(°C)

$\theta_{HS\_out}$ : 熱源機側熱源水出口温度(°C)

$C_w$ : 容積比熱(kJ/m³K)  $E_{ref}$ : 消費電力(kW)  $COP$ : 成績係数(-)

$q$ : 負荷率(-)  $a, b, c, d, e$ : 機器特性近似係数(-)

$G_{H\_in}$ : 下水入口流量(m³/s)  $G_{H\_out}$ : 下水出口流量(m³/s)

$G_{L\_in}$ : 熱交換器側熱源水入口流量(m³/s)

$G_{L\_out}$ : 熱交換器側熱源水出口流量(m³/s)  $\theta_{H\_in}$ : 下水入口温度(°C)

$\theta_{H\_out}$ : 下水出口温度(°C)  $\theta_{L\_in}$ : 熱交換器側熱源水入口温度(°C)

$\theta_{L\_out}$ : 熱交換器側熱源水出口温度(°C)  $Q_{HEX}$ : 下水熱利用量(kW)

$K_{HEX}$ : 熱通過率(kW/m²K)  $A_{HEX}$ : 熱交換面積(m²)

$\Delta\theta_m$ : 対数平均温度差(K)

### 4.3 建物モデル

シミュレーションを行うにあたり、熱源機モジュールの入力値に定格加熱能力などの仕様値が必要である。本研究では、能力の異なる3種類の水冷ヒートポンプ熱源機(以下、HP)の仕様を参照する。

下水熱利用を導入する建物に住宅施設、業務施設、医療施設、宿泊施設の4つの用途を想定し、各用途の延床面積規模に応じて3種類の熱源機(HP①～③)から適切な熱源機を選択する。表2に設定した12個の建物モデルを示す。なお、建物延床面積の設定に関しては、用途ごとにある建物延床面積あたりの給湯負荷原単位から算出される2月の給湯負荷が、各熱源機の定格加熱能力に等しくなる建物延床面積を求め、その値を上限値に設定している。

### 4.4 算出結果

表3に示す各モジュールの入力値を用いて建物モデルごとにシミュレーションを行い、時刻ごとの下水熱利用量を求めた。なお、貯湯槽を用いた夜間蓄熱運転を想定していることから、下水熱利用量は熱源機稼働する22時～翌日18時まではほぼ一定値を保ち、18時～22時までは熱源機が停止するため下水熱利用量はない。表4に熱源機稼働時間における5、8、11、2月の下水熱利用量の平均値を示す。

### 5. ポテンシャルマップの作成手法

表1に示した下水流量、温度推定法以外に採熱限界ポテンシャルの算出に必要な情報を表5にまとめる。また、既往研究にて提案された下水流量、温度推定法が時刻別まで適用可能であるとされる大阪市の海老江処理区を対象例に、採熱限界ポテンシャルを示すポテンシャルマップを作成する。

#### 5.1 下水熱利用・熱融通システム導入前

下水熱利用・熱融通システム導入前( $\Sigma Q_{in}$ ,  $\Sigma Q_{out}$  = 0)のポテンシャルマップを作成する。

海老江下水処理場にて実測された日平均下水流量の年間時系列データから降水日のデータを除き、月ごとの日平均下水流量を求める。そして、下水流量推定法<sup>[3]</sup>に必要な情報が内在している下水熱利用検討専用GISシステム(UE\_VAMS)\*に月ごとの日平均下水流量を入力し、処理区内各地点の時刻別平均下水流量を求める。

下水温度については、海老江下水処理場における日平均下水温度の年間時系列データと大阪市の日平均気温の年間時系列データから、下水温度推定法<sup>[2]</sup>により海老江処理区内の各地点で共通する月ごとの時刻別平均下水温度を求める。

また、海老江下水処理場における日平均下水温度の年間時系列データから降水日データを除外し、月ごとの処理限界下水温度を求める(図6)。

表2 建物モデル

建物用途	熱源機	定格加熱能力(kW)	建物延床面積(m <sup>2</sup> )		建物モデル名
			(下限値)	(上限値)	
住宅施設	HP①	30	0	~ 4,113	住宅HP①
	HP②	57.97	4,114	~ 7,952	住宅HP②
	HP③	101.8	7,953	~ 13,957	住宅HP③
業務施設	HP①	30	0	~ 40,724	業務HP①
	HP②	57.97	40,725	~ 78,733	業務HP②
	HP③	101.8	78,734	~ 138,501	業務HP③
医療施設	HP①	30	0	~ 1,927	医療HP①
	HP②	57.97	1,928	~ 3,726	医療HP②
	HP③	101.8	3,727	~ 6,577	医療HP③
宿泊施設	HP①	30	0	~ 1,793	宿泊HP①
	HP②	57.97	1,794	~ 3,467	宿泊HP②
	HP③	101.8	3,468	~ 6,085	宿泊HP③

表3 モジュールの入力値

モジュール	入力値	値		
		HP①	HP②	HP③
熱交換器モジュール	$\theta_{H,in}$ (°C)	推定法によって推定したポテンシャルマップを作成する地域における月ごとの時刻別平均下水温度		
	$G_{H,in}$ (m <sup>3</sup> /s)	$1.18 \times 10^{-3}$	$2.41 \times 10^{-3}$	$4.14 \times 10^{-3}$
	$\theta_{L,in}$ (°C)	熱源機モジュール出力値		
	$G_{L,in}$ (m <sup>3</sup> /s)	$2.08 \times 10^{-3}$	$2.21 \times 10^{-3}$	$3.93 \times 10^{-3}$
	$K_{HEX}$ (kW/m <sup>2</sup> K)	1.00		
	$A_{HEX}$ (m <sup>2</sup> )	10.0	19.3	33.9
	$C_w$ (kJ/m <sup>3</sup> K)	4187		
熱源機モジュール	$\theta_{HOT,in}$ (°C)	建物モデルごとに異なる		
	$G_{HOT,in}$ (m <sup>3</sup> /s)	$1.39 \times 10^{-4}$	$2.53 \times 10^{-4}$	$5.07 \times 10^{-4}$
	$\theta_{HS,in}$ (°C)	熱交換器モジュールの出力値		
	$G_{HS,in}$ (m <sup>3</sup> /s)	熱交換器モジュールの出力値		
	$\theta_{HOT,out}$ (°C)	65.0		
	$Q_{CON,ref}$ (kW)	30	58	102
	$C_w$ (kJ/m <sup>3</sup> K)	4169		

表4 各建物モデルの下水熱利用量

	5月	8月	11月	2月
住宅HP①	55	25	44	73
住宅HP②	119	52	94	157
住宅HP③	189	63	140	276
業務HP①	32	17	32	73
業務HP②	67	35	67	157
業務HP③	90	38	90	276
医療HP①	62	44	63	73
医療HP②	133	95	134	158
医療HP③	218	140	221	275
宿泊HP①	54	44	62	73
宿泊HP②	115	96	133	157
宿泊HP③	181	140	217	275

単位: MJ/h

表5 ポテンシャルの算出に必要な情報

項目	必要な情報
処理限界下水温度	ポテンシャルマップ作成地域を管轄する処理場における日平均下水温度の年間時系列データ
下水熱利用の導入を 考える建物の下水熱 利用量	熱源機の仕様値(定格加熱能力など)
	熱負荷原単位
	熱交換器性能
	導入を考慮する建物の用途
	導入を考慮する建物の延床面積

以上より、求めた下水温度と処理限界下水温度の温度差を、UE\_VAMS のデータ上でポテンシャルの算出を行った。図 8, 9 に、下水熱利用・熱融通システム導入前における 2 月の 6 時と 23 時のポテンシャルマップを示す。2 つのマップを比較することで、23 時の方が 6 時よりも採熱限界ポテンシャルが高いことがわかる。これは 6 時と 23 時を比較すると、23 時の下水流量は 6 時の約 3 倍、下水温度は約 2(K) 高いためである。

## 5.2 下水熱利用システム導入後

次に下水熱利用システム導入後 ( $\sum Q_{in} \neq 0, \sum Q_{out} = 0$ ) のポテンシャルマップを作成する。建物の下水熱利用量について、まず、海老江処理区にて下水熱利用システム導入を考える建物を複数選択し、その建物の用途、延床面積を把握する。次に、表 2 を用いて、選択した建物を用途と延床面積が該当する建物モデルへ振り分け、表 4 に示した値を選択した建物の下水熱利用量とする。そして、導入を行う各建物の直近において、下水熱利用・熱融通システム導入前のポテンシャルから建物の下水熱利用量を下流に向けて積算して引く計算を行う(図 7)。

図 10 に下水熱利用システム導入後における 2 月、6 時のポテンシャルマップを示す。なお、紫色で示した建物は下水熱利用システムを導入する建物である。導入前の図 8 と比べ、導入建物近傍ではポテンシャルが減少していることがわかる。

## 6. まとめ

- 1) 現状の下水処理温度を逸脱しない下水熱利用を前提とし、かつ、下水熱利用・熱融通の普及状況に応じて更新可能な採熱限界ポテンシャルを提案した。
- 2) 都市内の各地点における下水熱利用可能量を把握するため、採熱限界ポテンシャルの算出過程で必要となる情報の整理を行い、推定を行った。
- 3) 既往研究にて提案された下水流量推定法が、他都市において日平均下水流量の推定まで適用可能であることがわかった。
- 4) 既往研究にて提案された下水温度推定法が、他都市において月別平均下水温度の推定まで適用可能であることがわかった。
- 5) 処理限界下水温度に下水処理場における降水日を除いた月ごとの最低下水温度を用いることを考えた。
- 6) 熱源機の仕様値や給湯負荷原単位を用いることにより、用途、規模ごとに建物モデルを考え、各建物モデルにおいて下水熱利用量を算出した。

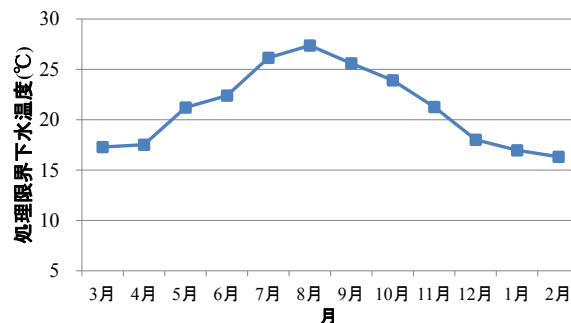


図 6 海老江処理場の降水日データを除外した最低下水温度(処理限界下水温度)

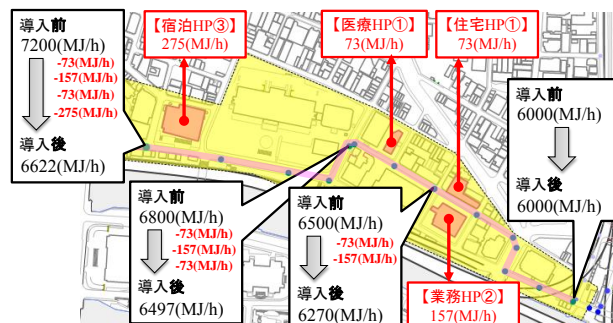


図 7 導入後のポテンシャル変化

- 7) 下水熱利用の導入を考える建物の下水熱利用量は建物の用途と延床面積から建物モデルへ振り分け、建物モデルの値を近似的に用いるとした。
- 8) 大阪市海老江処理区を対象例に下水熱利用システム導入前後の採熱限界ポテンシャルを示すポテンシャルマップを作成した。

## 7. 今後の課題

本研究にて既往研究にて提案された下水流量、温度推定法が大阪市以外でも適用可能であるか検証を行ったが、時刻別平均下水流量、温度の検証はできていない。

\* UE\_VAMS は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトにおいて、株式会社総合設備コンサルタントによって独自に開発された下水熱利用専用 GIS システムである。

### 【参考文献】

- [1] 三毛 正仁 他, 下水管路における流量・温度推定のための下水流量・温度の実測, 空気調和・衛生工学会論文集 No.202, 2014 年 1 月
- [2] 河合 弘樹 他, 下水管路を利用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 3 報) 大阪市内における下水温度実測と地域性を考慮した下水温度推定法について, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2013 年 3 月
- [3] 澤部 孝一 他, 都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 7 報) 大阪市の任意地点における下水流量推定法の提案と検証, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2013 年 9 月
- [4] 澤部 孝一 他, 下水管路を利用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 2 報) 下水熱利用・熱融通システムシミュレーションの方法と試算, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2012 年 3 月
- [5] 中村 賢司 他, 都市域における下水管路網を利用した下水熱利用・熱融通システムの研究 (第 9 報) 貯湯槽を含めた下水熱利用システムの省エネルギー効果の試算, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2013 年 9 月

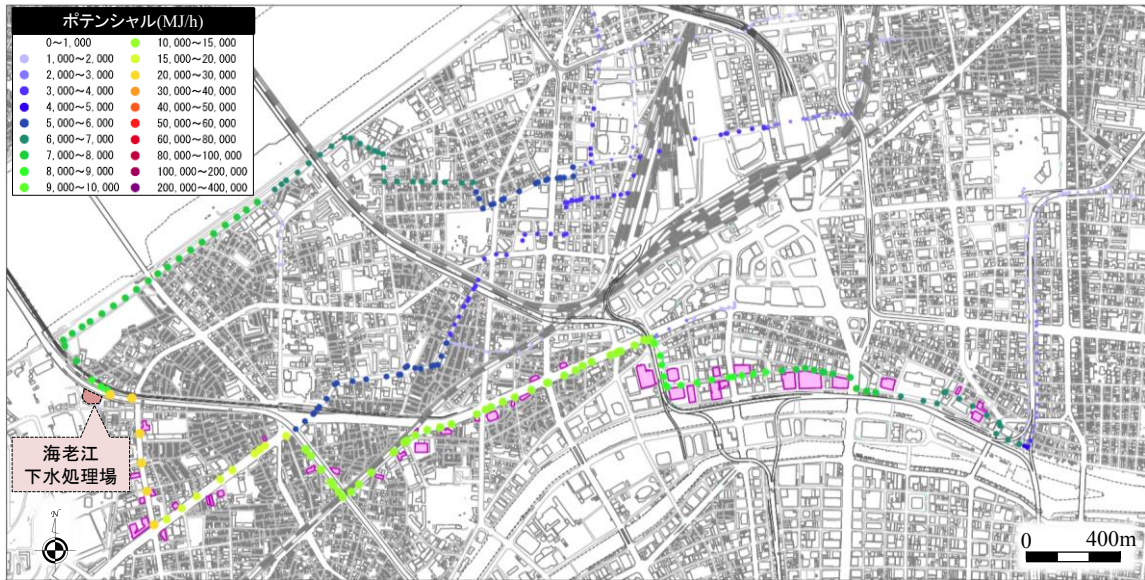


図8 海老江処理区における採熱限界ポテンシャルマップ(下水熱利用・熱融通システム導入前・2月・6時)

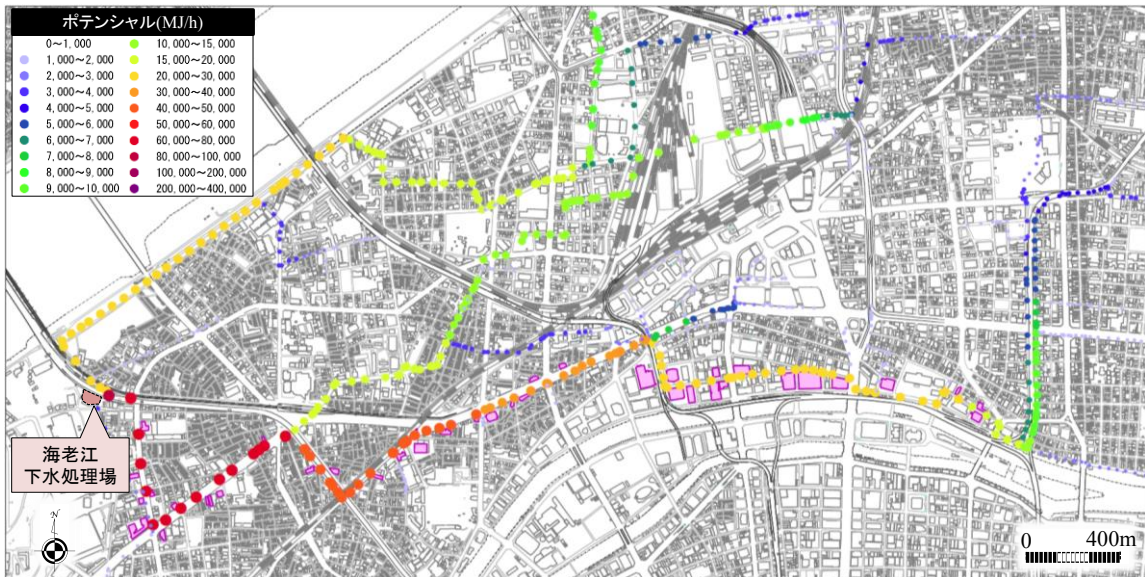


図9 海老江処理区におけるポテンシャルマップ(下水熱利用・熱融通システム導入前・2月・23時)

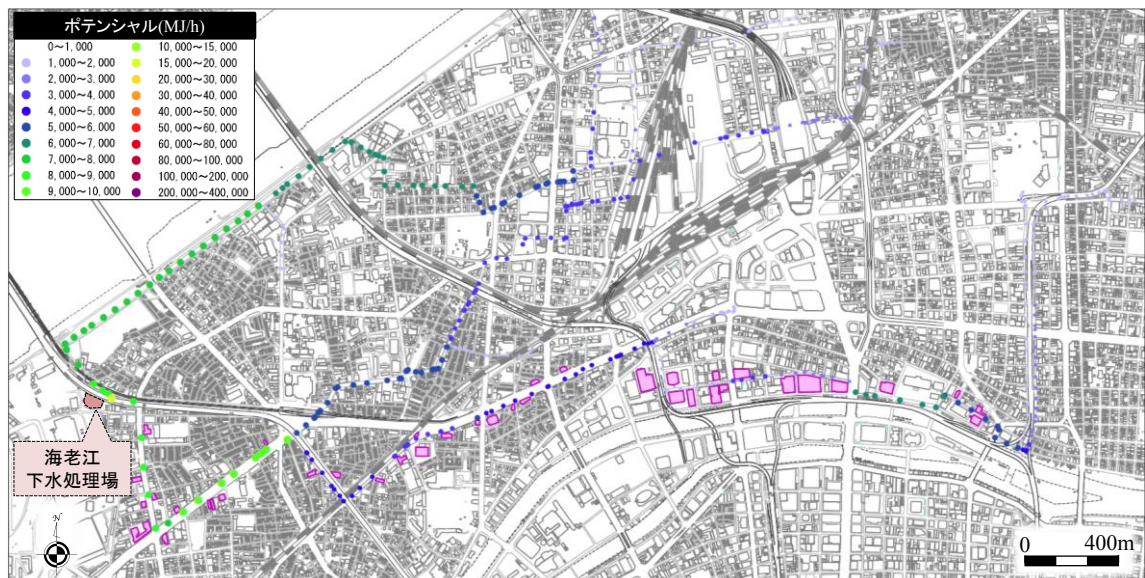


図10 海老江処理区における採熱限界ポテンシャルマップ(下水熱利用システム導入後・2月・6時)

## 討議

1. 建物における下水熱利用量は時刻ごとに変動するが、下水熱利用にどのような問題が生じるか。負荷の多い時間に下水熱ポテンシャルがなくなってしまうのではないか。  
(貫上教授)

本研究では、下水熱利用を導入する建物について、貯湯槽を含めた夜間蓄熱システムを想定している。これにより、建物の下水熱利用量は熱源機の稼働時間内においてはほぼ一定である(図 1)。つまり、このような場合、負荷の多い時間の下水熱利用量が抑えられ、下水熱ポテンシャルが 0 とならない限り、問題は生じないと考えている。

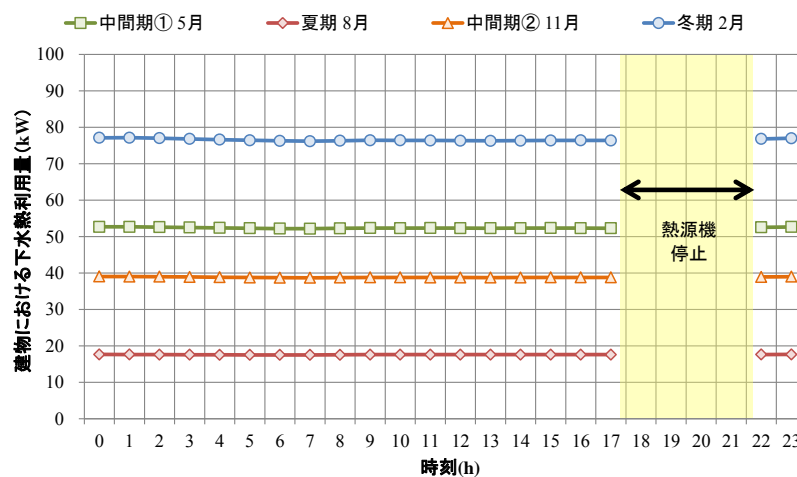


図 1 建物における下水熱利用量(建物モデル【住宅 HP③】)

2. 処理限界下水温度と気温の関係性はどのようなものか。  
(西岡准教授)

図 2 に大阪市海老江処理区における降水日を除いた月ごとの最低下水温度である処理限界下水温度と、大阪市の月平均気温を示す。この図より、6~8 月では、気温の方が処理限界下水温度より大きくなっていることがわかる。一方、冬期は処理限界下水温度の方が気温より 5℃以上高いことがわかる。

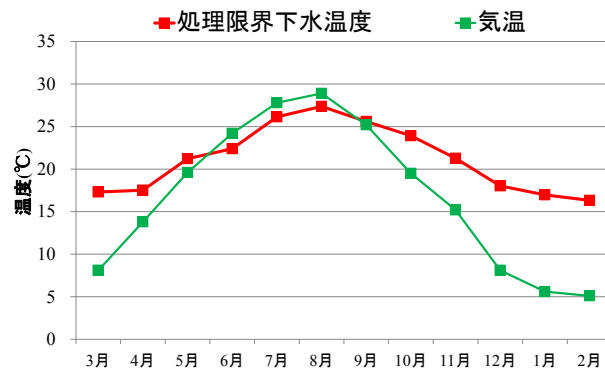


図2 大阪市海老江下水処理場における処理限界下水温度と気温の関係

- 下水熱融通システムを考えた場合、冷水利用する温度が処理限界下水温度よりも低い方が効率は良くなることが考えられるので、今後はポテンシャルの定義を拡張してはどうか。

(西岡准教授)

本研究での下水熱ポテンシャルは、下水熱利用のみを考えたものであった。今後は、式1に示した下水熱ポテンシャルの算出式中の温度差 $\Delta T$ に冷水温度などを含め、本研究での下水熱ポテンシャルとは別に、冷水利用を想定した下水熱ポテンシャルを定義することが考えられる。この下水熱ポテンシャルの定義方法については、今後検討していく余地がある。

$$P_{SEW} = C_w G_{SEW} \Delta T \quad \text{式1}$$

$P_{SEW}$ : 下水熱ポテンシャル(MJ/h)     $C_w$ : 水の容積比熱(MJ/m<sup>3</sup>K)

$G_{SEW}$ : 下水流量(m<sup>3</sup>/h)     $\Delta T$ : 温度差(K)

- 下水温度は下水管路上で計測していないのか。

(瀧澤准教授)

一般に、下水温度は自治体が下水処理場や抽水所などでしか計測しておらず、管路上での計測は行われていない。そこで、これまでの研究にて下水温度の推定法が提案されてきた。